

Fotoakustički odziv tankih filmova – uticaj toplotne memorije

Mioljub Nešić¹, Marica Popović¹, Zoran Stojanović¹, Zlatan Šoškić², Slobodanka Galović¹⁻³

¹Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija

²Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Kraljevo, Srbija

³Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, Дубна, Россия

Izvod

Na osnovu generalizovanog modela fotoakustičkog odziva koji uzima u obzir uticaj toplotne memorije i na termoprovodnu i na termoelastičnu komponentu, analiziran je fotoakustički odziv tankih filmova. Pokazano je da se uticaj toplotne memorije uzorka ispoljava na učestalostima iznad određene granične učestanosti koja zavisi od toplotnih memorijskih svojstava uzorka i od njegove debljine. Izvedena je linearna relacija koja povezuje brzinu prostiranja toplote sa merenim odzivom. Uzimajući u obzir ograničenje frekventnog opsega koje nameće merni sistem, pokazano je da se u fotoakustičkom eksperimentu mogu određivati toplotna memorijska svojstva nekristalnih tankih filmova.

Ključne reči: fotoakustika, termoelastično savijanje, toplotna memorija, tanki film.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

NAUČNI RAD

UDK 538.975

Hem. Ind. 67 (1) 139–146 (2013)

doi: 10.2298/HEMIND120302052N

Posle izlaganja određenog uzorka dejstvu elektromagnetnog (EM) zračenja iz širokog spektra talasnih dužina, određeni procenat upadne energije biva deponovan u uzorku (ostatak se reflektuje ili prolazi kroz uzorak), a jedan deo te deponovane energije biva oslobođen u vidu toplote, pobuđujući, u uzorku i izvan njega, čitav niz fenomena koji mogu biti detektovani – fototermalnih (FT) fenomena: temperaturska dilatacija kao i defleksija površine uzorka, pojava akustičkih i termalnih talasa, kao i gradijenta optičkog indeksa prelamanja u uzorku i izvan njega. [1–4]. Ovaj rad obrađuje indirektni fotoakustički (FA) odziv materijala, pa su, shodno tome, u fokusu one promene koje dovode do pojave akustičkog signala koji može biti detektovan uz pomoć mikrofona u gasnoj komori (gas-mikrofonska postavka problema) [2,3,5–10].

Prvobitni pristup opisivanju problema fotoakustičkog odziva dat je 1975. godine [5]: pretpostavljeno je da je glavni izvor akustičnih talasa u FA komori zapreminska dilatacija tankog sloja gasa najbližeg površini uzorka, izazvana periodičnim transferom toplote sa uzorka na gas. Model je nazvan „toplotni klip“. Naredni korak je sledio 1977. kada je postojeći model proširen uračunavanjem doprinosa mehaničkih vibracija nastalih usled toplotne dilatacije samog uzorka (mehanički klip) [6] – novonastali model je dobio ime „kompozitni klip“. Konačno, 1982. biva objašnjena uloga „efekta bubnja“ kod uzoraka čiji je poprečni presek mnogo veći od kvadrata debljine, usled pojave gradijenta temperature normalnog na veću dimenziju uzorka. Ovaj efekat je naz-

van termoelastično (TE) savijanje i njime je proširen model mehaničkog i kompozitnog klipa [7].

Svi ovi modeli FA signala su zasnovani na pretpostavci da se optički generisana toplota prostire difuzijom [1–15], isključujući uticaj nenultog termalnog vremena relaksacije i konačne brzine prostiranja toplote, koji opisuju toplotnu memoriju materijala [16–22]. U ovom radu je u model kompozitnog klipa uključen uticaj toplotne memorije, sa ciljem da generalizovani model omogući FA određivanje toplotnih memorijskih svojstava.

TEORIJA

U indirektnoj transmisioj fotoakustici, koristi se fotoakustička ćelija ispunjena vazduhom kao element u kome se stvara akustički signal uz pomoć delovanja amplitudski modulisanog monohromatskog svetlosnog izvora $I = I_0(1 + \cos \omega t) / 2$ na uzorak. Obično se koristi cilindrična FA ćelija u kojoj je uzorak oblika diska poluprečnika R i debljine l_s jednostavno učvršćen na rastojanju R' od centra uzorka. Ovakav uzorak se, kroz vazduh, obasjava sa jedne strane opisanim izvorom, dok se akustički odziv sistema snima mikrofonom u vazdušnoj koloni FA ćelije sa druge strane uzorka – transmisiona gas-mikrofonska konfiguracija (slika 1). Uvedene su sledeće oznake za termalna svojstva sistema prikazanog na slici 1: D_T – toplotna difuzivnost [m^2/s], k_i – toplotna provodnost [W/mK], τ_i – toplotno vreme relaksacije [s] i $u_i = \sqrt{D_T / \tau_i}$ – brzina prostiranja toplote [m/s], sa indeksom $i = a, s$ koji označava i -tu sredinu (vazduh ili uzorak).

Pri razvoju direktnog modela FA signala korišćene su sledeće pretpostavke: a) površina poprečnog preseka upadnog snopa mnogo je veća od obasjane površine samog uzorka, pa se računajući na planarnu uni-

Prepiska: M. Nešić*, S. Galović**, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, p. fah 522, 11001 Beograd, Srbija.

E-pošta: *mioljub.nesic@vinca.rs, **bobagal@vinca.rs

Rad primljen: 2. mart, 2012

Rad prihvaćen: 21. maj, 2012

